



Двадцать третья международная конференция  
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"



# Оценка содержания протеина в кормовых травах с использованием ДЗЗ и методов машинного обучения

## Ермолаева Ольга Сергеевна

Ст. преподаватель кафедры прикладной информатики  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, заведующий  
лабораторией ГИС и ДЗЗ

## Худякова Елена Викторовна

И.о.зав. кафедрой прикладной информатики  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,  
доктор экономических наук, профессор

## Степанцевич Марина Николаевна

Доцент кафедры прикладной информатики  
РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,  
к.э.н., доцент

## Бевх Виталий Андреевич

Студент бакалавр РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

# Многолетние и однолетние травы – основа кормового рациона скота

Корма из  
многолетних  
трав

Зеленый корм

Сено

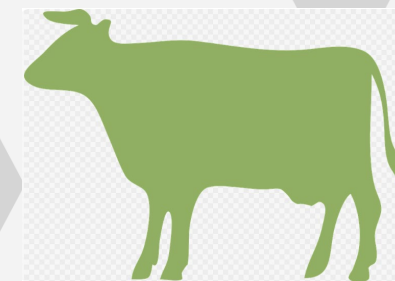
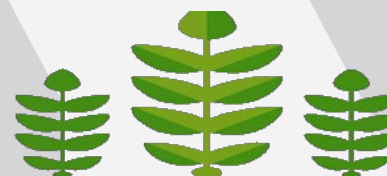
Силос

Сенаж

Это:

60-85 % в структуре  
кормового рациона  
скота

**ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬ**



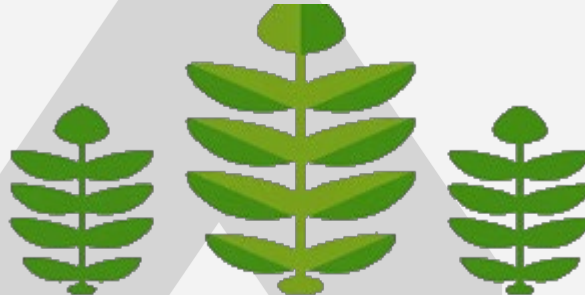
Посевные площади однолетних и многолетних трав составляют 18,3 %  
всех посевных площадей и 90,2 % посевных площадей кормовых культур

**Клетчатка** → переваримость корма и содержание энергии к корме.

**Протеин** → продуктивность животных.

*Оптимальное содержание. Например в силосе и сенаже 1-го класса содержание сырой и нейтрально-детергентной клетчатки не должно превышать 26-28 и 50 % в сухом веществе, при уровне сырого протеина не менее 14-16 %.*

При превышении клетчатки на 1 % выше нормы перевариваемость корма ухудшается на 5 % и на 5 % падает продуктивность скота



# Оптимальная для скашивания фаза развития кормовой культуры

10-20 июня

(до фазы колошения)

(в фазу  
бутонизации)



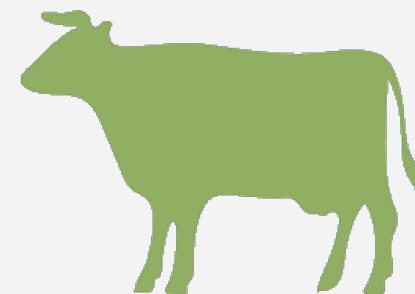
**Злаковые кормовые  
травы (овсяница, ежа  
сборная тимофеевка и  
др.)**



**Бобовые кормовые  
травы (клевер луговой,  
люцерна и др.)**

# Неоптимальный срок заготовки корма ведет к потере продуктивности скота **до 20 %**

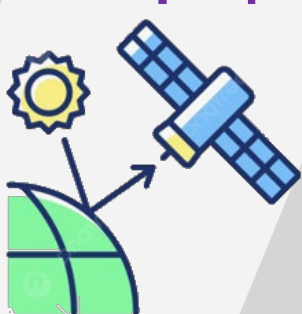
- Крупные сельскохозяйственные предприятия, агрохолдинги, имеющие собственные лаборатории, по анализам кормов, проводят анализ на содержание сырого протеина ежедневно, чтобы определить оптимальные сроки уборки.
- Около 1 % в Российской Федерации сельскохозяйственных предприятий имеют такие лаборатории, что недостаточно.



# Предлагаемая методика на основе использования информационных технологий

**Дистанционное зондирование посевов, определение содержания азота в растениях**

**Хлорофилл**



**Азот**

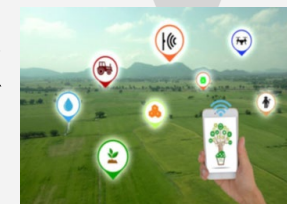


**Протеин**

**Определение содержания сырого протеина**

**Определение содержания клетчатки**

**Установление оптимальных сроков скашивания трав**





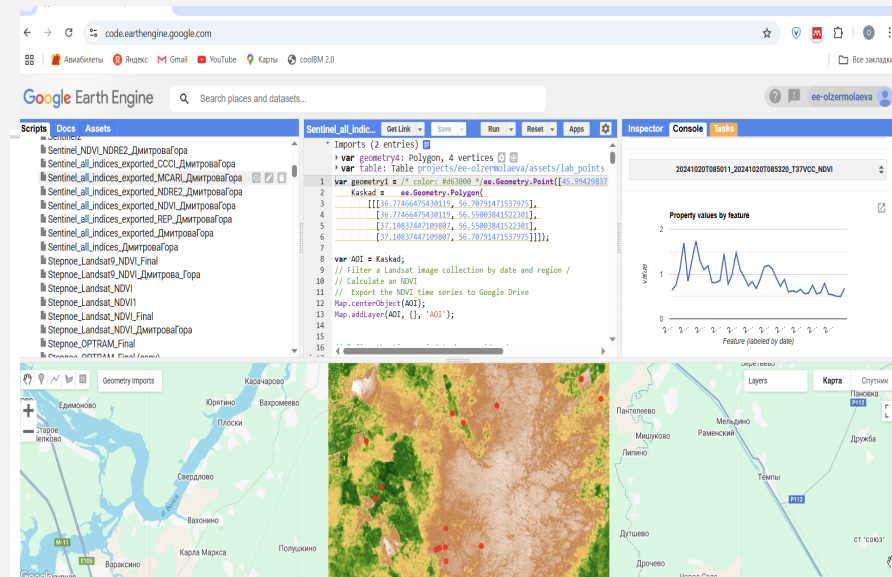
# Исследование возможностей дистанционного мониторинга содержания протеина в посевах кормовых трав



# Методика проведения анализа

- Получение данных лабораторных анализов содержания протеина (Protein) в точках отбора проб
- Подбор спутниковых снимков **Landsat 8, 9 и Sentinel-2** на даты проведения отбора проб на платформе GEE
- Вычисление значений индексов **NDVI, CCCI, MCARI, NDRE, REP и др. (15 индексов)** для каждой точки отбора на платформе GEE
- Проведение анализа корреляции значений индексов/протеина по лабораторным данными

20.05.2024
20.05.2024
20.05.2024
24.05.2024
24.05.2024
24.05.2024
24.05.2024
24.05.2024
24.05.2024
24.05.2024
24.05.2024
11.06.2024
11.06.2024
14.06.2024
14.06.2024
14.06.2024
14.06.2024
14.06.2024
20.06.2024
03.07.2024
03.07.2024
03.07.2024
03.07.2024
10.07.2024
15.07.2024
15.07.2024
15.07.2024
30.07.2024
30.07.2024
01.10.2024
01.10.2024

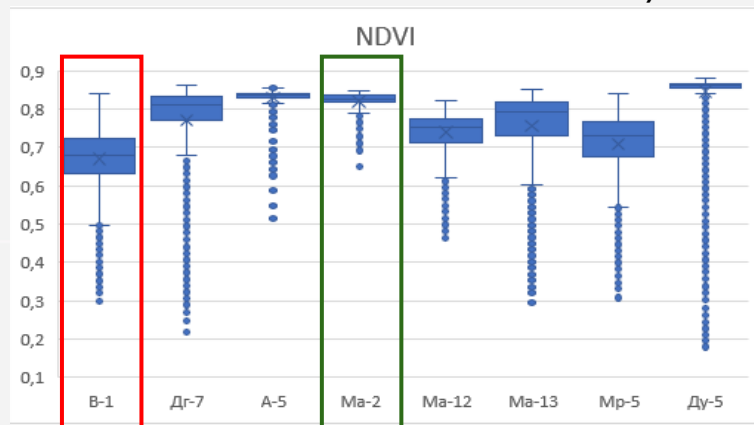


20240605T085601\_20240605T085600\_T37VCC\_NDVI  
20240622T084601\_20240622T084921\_T37VCC\_NDVI  
20240625T085601\_20240625T085559\_T37VCC\_NDVI  
20240627T084559\_20240627T084941\_T37VCC\_NDVI  
20240629T083601\_20240629T083602\_T37VCC\_NDVI  
20240630T085559\_20240630T090232\_T37VCC\_NDVI  
20240702T084601\_20240702T084706\_T37VCC\_NDVI  
20240704T083559\_20240704T083714\_T37VCC\_NDVI  
20240707T084559\_20240707T085108\_T37VCC\_NDVI  
20240712T084601\_20240712T085205\_T37VCC\_NDVI  
20240717T084559\_20240717T084945\_T37VCC\_NDVI  
20240724T083559\_20240724T083718\_T37VCC\_NDVI  
20240725T085601\_20240725T085558\_T37VCC\_NDVI

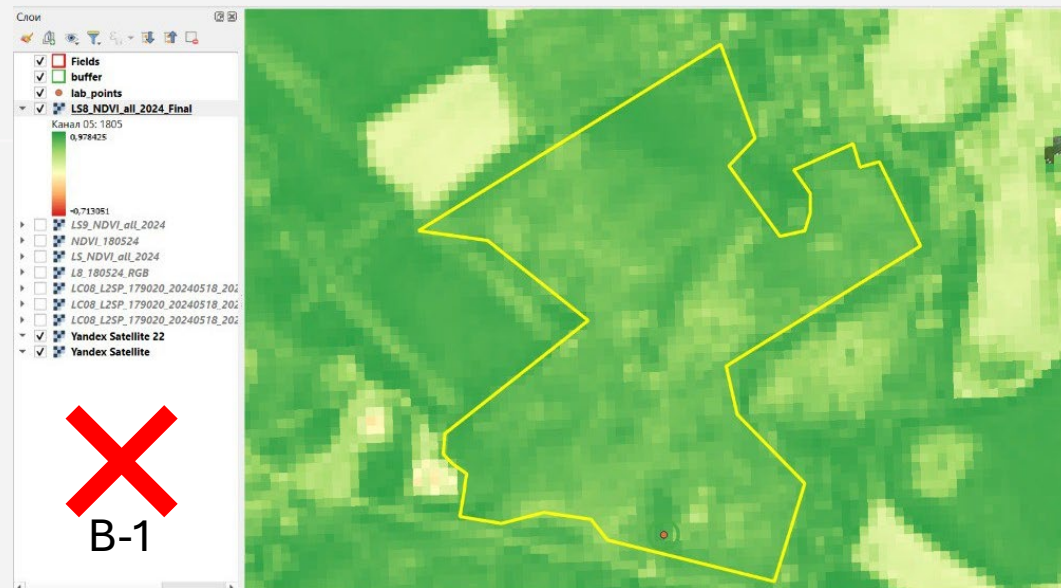
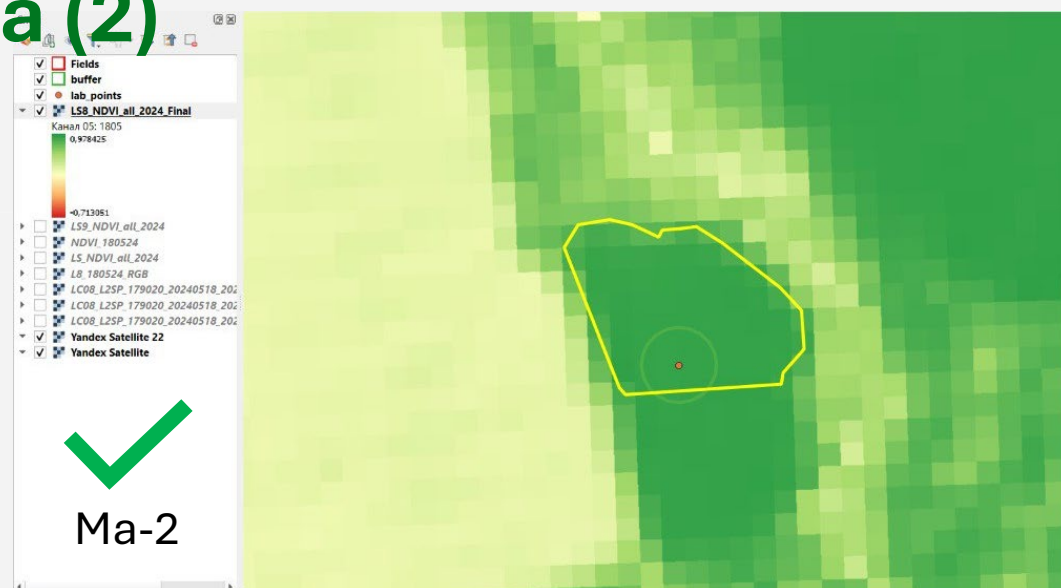


# Методика проведения анализа (2)

Корреляционный анализ данных показал несколько низкие результаты, что было связано авторами с неоднородностью посевов на отдельных полях (пример В-1) а также точностью определения координат локаций отбора с помощью мобильного приложения (заявленная точность определения местоположения 1-10 м).

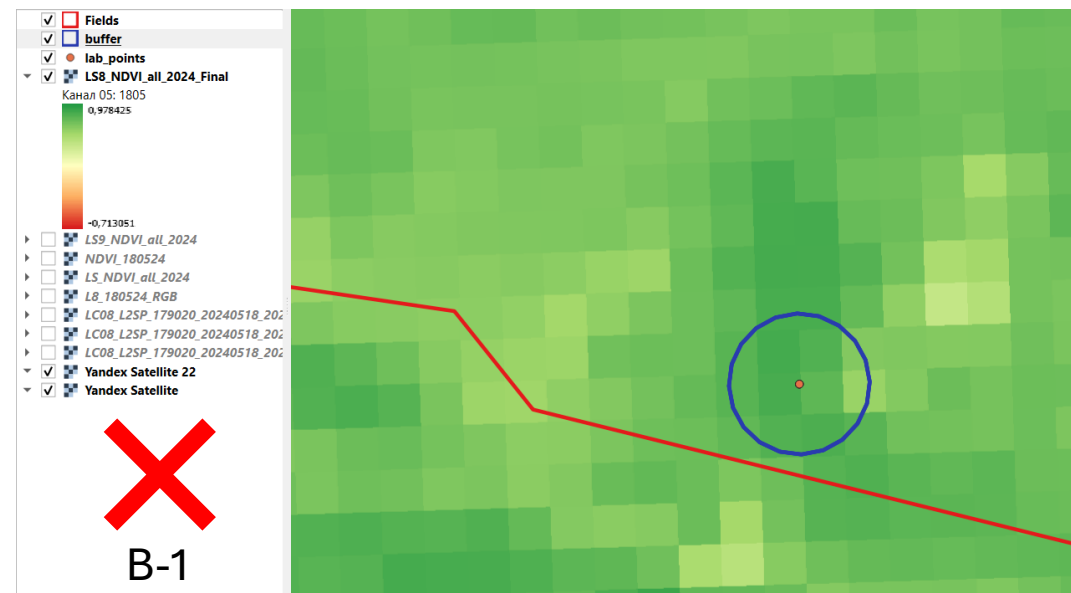
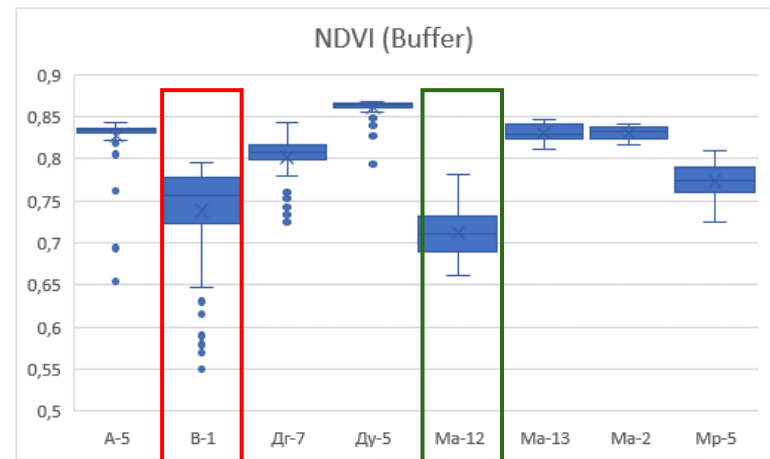


Было принято решение об использовании в корреляционном анализе медианного и среднего значений вегетационных индексов, попадающих в окрестность радиусом 40 метров от точки отбора пробы.



# Методика проведения анализа (3)

- Создание буферных зон (40 м) вокруг точек отбора проб.
- Вычисление средних и медианных значений индексов **NDVI**, **CCCI**, **MCARI**, **NDRE**, **REP** (и др.) для каждой буферной зоны точки
- Проведение анализа корреляции значений индексов и лабораторными данными по протеину
- Применение зонального анализа позволила значительно улучшить результаты, особенно для таких индексов, как NDRE (Normalized Difference Red Edge) и REP (Red Edge Position). Значение  $R^2$  составило 0,602 для линейной и 0,622 для экспоненциальной функции для NDRE, а также 0,761 для линейной и 0,791 для экспоненциальной функции для REP.



# Выводы

1

Одной из причин низкой корреляции между некоторыми индексами и содержанием протеина является **неоднородность посевов**, что влияет на точность дистанционного мониторинга

2

**NDVI и REP** являются наиболее перспективными индексами для оценки содержания протеина

3

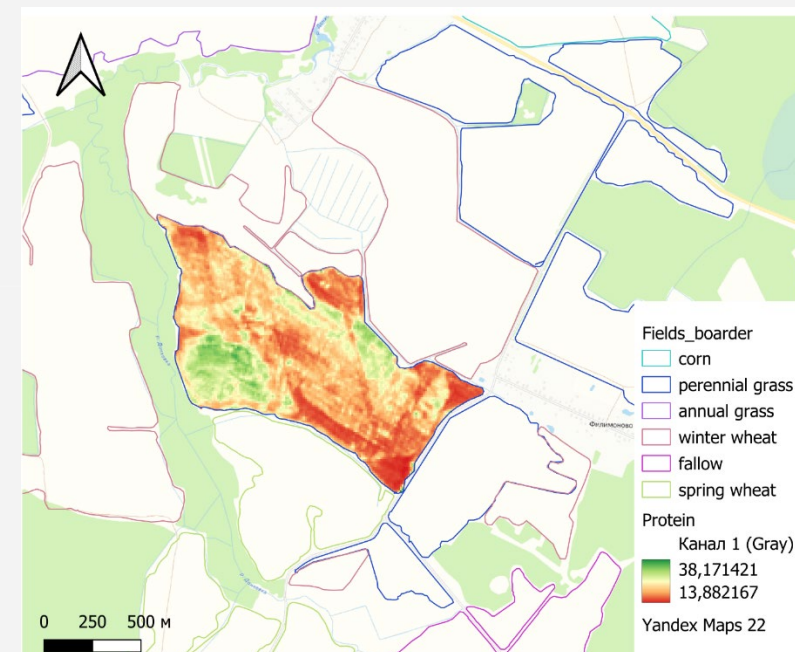
Для получения более точных результатов корреляции между лабораторными данными и вегетационными индексами следует закладывать больше опытных точек и возможно использовать БПЛА

4

Дистанционный мониторинг позволяет оценивать содержание протеина в кормовых травах

5

Спутниковые индексы позволяют частично заменить лабораторный анализ, но требуют калибровки для повышения точности



МО обучение производилось на платформе GEE. Для обучения классификатора использовались данные о содержании протеина, рельефе, его деривативах, осадках, и NPK локаций мест точек отбора проб.

В результате с помощью построенного классификатора была проведена классификация растров, пример визуализации представлен на рисунке.



Спасибо за ваше внимание!

Будем рады Вашему интересу к нашему докладу и готовы ответить на вопросы через платформу конференции или по электронной почте

Ермолаева О.С., ol\_ermolaeva@ragu-msha.ru  
Худякова Е.В., evhudyakova@rgau-msha.ru  
Степанцевич М.Н., stepancevich@rgau-msha.ru  
Бевх В.А., bevkh.vitaliy@yandex.ru

Исследование выполнено  
за счет гранта Российского  
научного фонда № 25-26-  
00377, <http://rscf.ru/project/25-26-00377/>